JAXA's

［ジャクサス］October 2010
宇宙航空研究開発機構機関誌

No.034

「きぼう」日本実験棟の成果

野口聡一宇宙飛行士インタビュー
蓄積されたノウハウで、よりレベルの高い宇宙開発をめざす

次期固体ロケット「イプシロン」の挑戦

宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS

表紙：M-Vロケット実機模型をバックに立つ森田泰弘プロジェクトマネージャー。手にしたイプシロンロケット（模型）の開発にあたっては、M-Vの後継機として性能を向上させるとともに、従来の打ち上げシステムの革新にチャレンジする

INTRODUCTION

地上約400㎞上空をめぐる「きぼう」日本実験棟。微小重力環境を利用して、医療から新材料開発まで、幅広い分野の実験が行われています。今号では、「きぼう」日本実験棟での実験結果をもとに地上で進む研究を、研究者へのインタビューを通じて紹介。私たちの将来をより良いものにするために活動する「きぼう」日本実験棟の最新情報をお届けします。そして、2013年度の打ち上げを目指し、開発が進む次世代固体ロケット「イプシロン」。世界最高レベルのロケット技術を注ぎ込み、ロケットの歴史に革命を起こすべく現場で指揮をとる森田泰弘プロジェクトマネージャーが熱く語ります。10万人を超える方々にお越しいただいた小惑星探査機「はやぶさ」展示イベント報告や、リアルで美しい人工衛星のCG画を手がけるイラストレーター池下章裕さんの仕事など、今号も盛りだくさんの内容をお楽しみください。

今後も続く日本人宇宙飛行士の長期滞在。蓄積されたノウハウで、よりレベルの高い宇宙開発をめざす

スペースシャトルとソユーズ宇宙船に搭乗して感じた違い、「きぼう」に結集された日本の技術力、宇宙での暮らしを支える精神的サポートの存在まで、帰国した野口聡一宇宙飛行士にインタビュー。163日の長期滞在ミッションでの体験を語ってもらいました。

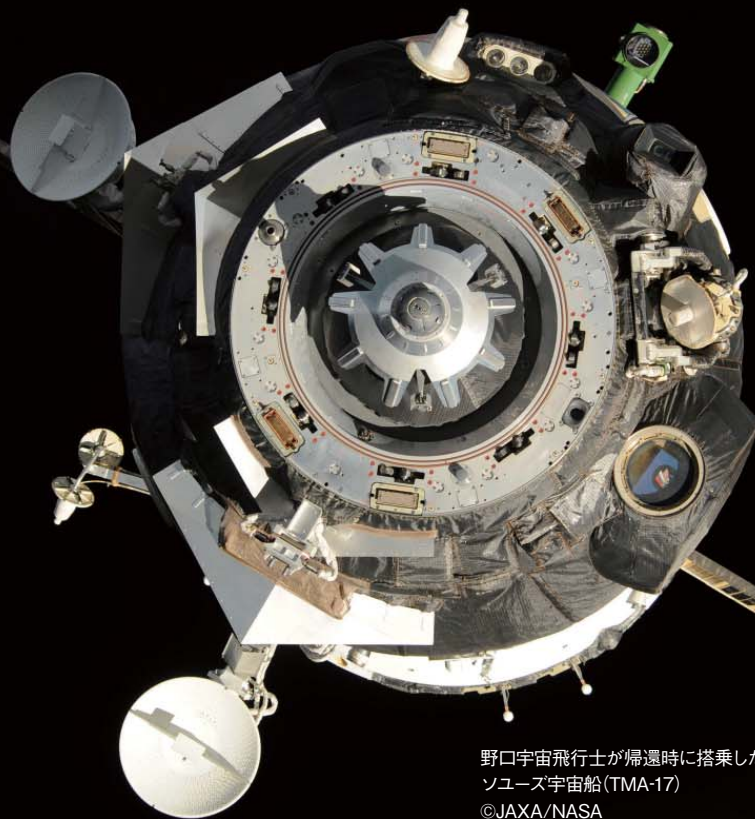
ソユーズ宇宙船を操り貴重な経験を積む

―野口さんにとって2回目の宇宙でした。最初はSTS―114で、「リターン・トゥ・フライト」（シャトルの飛行再開）という非常に重要なミッションでした。今回はJAXAの宇宙飛行士として初めてソユーズ宇宙船でISSに行くという、また新しいチャレンジがあったわけですが、ご自身として何か特別の思いはありますか。

野口　スペースシャトルとソユーズ宇宙船の両方に搭乗でき、宇宙飛行士として本当に幸せなキャリアだと思います。アメリカとロシアの有人宇宙飛行にはそれぞれに違った歴史はあるものの、最後にめざすものは一緒だとよく言われます。まさにそういう意味で、アメリカ的な宇宙船であるスペースシャトルと、ロシア的な宇宙船であるソユーズが一緒に到達したところがISSであるというのが、まさに私の2回のフライトの象徴であるような気がします。

―実際にソユーズ宇宙船に搭乗してみて、スペースシャトルとの違いをどう感じられましたか。

野口　今回はガガーリン以来の歴

ソユーズ宇宙船（21S）の移動飛行に備えてソコル宇宙服のリークチェック（気密点検）　©JAXA/NASA

野口宇宙飛行士が帰還時に搭乗した
ソユーズ宇宙船（TMA-17）
©JAXA/NASA

史がある宇宙基地から、ガガーリンと同じ発射台で打ち上げられ、ロシアの有人飛行の真髄に触れたという感じがありました。スペースシャトルは非常に複雑な宇宙船で、宇宙飛行士もシステムのすべてを把握できないという面があります。もちろんソユーズにも見えない部分はたくさんありますが、われわれが乗っている帰還モジュールとその上にある居住モジュールに関してはひと通り分かるという感じがあるのです。昔の自動車はボンネットを開ければ何があるか分かったけれども、今の自動車は電子機器が多くて分からない。その感覚の違いが、ソユーズとスペースシャトルの違いではないかと思います。

——打ち上げの時のことを少しうかがいます。シャトルにくらべて加速はきつかったですか。

野口　ソユーズはやはりサイズが小さいので、打ち上げの際の加速度や横揺れははっきりと感じられました。それと1段、2段、3段を切り離す時に、非常に明確な衝撃があります。宇宙空間に達する時も、4Gぐらいの加速度で上昇していて、いきなり0Gになってしまうので、その瞬間は前方に放り出されるような感覚がありました。

——野口さんの席のすぐそばには窓があります。打ち上げ後、フェアリングが外れると外が見えるということですが、いかがでしたか。

野口　そうなのですが、私の時は夜の打ち上げだったので、最初は真っ暗でした。そのうちだんだん明るくなってきて、気がついたら北海道が見えました。

——野口さんはフライトエンジニアとして、コマンダーの左側の座席に座っていましたね。

野口　フライトエンジニアの訓練は結構大変でした。しかし、例えば帰還時に異常があった場合のマニュアル・モードやいわゆる弾道モードなどがどういう思想で設計されているかといった深いところまで勉強していくので、とてもいい経験でした。

——ISSに滞在中に、ソユーズ宇宙船をISSのある場所から別の場所に動かすリロケーションという作業が行われました。この時にはソユーズ宇宙船を宇宙空間で自在に操っているという感じがしたのではないですか。

野口　リロケーションでは、普通のドッキングと違って全部マニュアルで宇宙船を操縦します。船長と私でいろいろな作業を分担しながら、30分ぐらいの間ISSのすぐそばを飛びました。操縦していると、宇宙船が姿勢を変えたり、移動したり、減速したりするのが全部ダイレクトに伝わってきて感じられるんです。言ってみれば宇宙船で宇宙遊泳してるかのような、なかなか面白い経験でした。

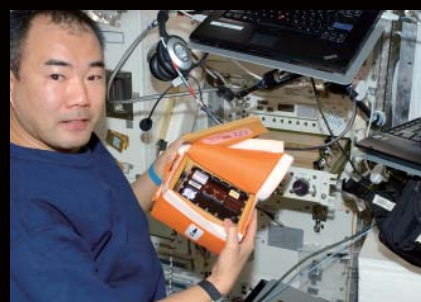
——着陸の時はどうでした。

野口　振動が大きかったですね。それから、私の席のすぐそばが窓なので、外側がオレンジ色に染まり、窓の外側が溶けているのが見えるんです。何重にもガードされたスペースシャトルとは違って、大気圏再突入がリアルに感じられました。

——宇宙船を操縦する技術を学ぶという点でも、意味があったのではないですか。

野口　そうですね。スペースシャトルには私を含め日本人宇宙飛行士が何度も搭乗していますが、ミッションスペシャリストとして仕事をしましたので、宇宙船の操縦そのもののノウハウというのは実はあまり得られていないのです。そういう意味では今回は、私や私をサポートしたJAXAに初めてそういうノウハウが入って来た意義深い経験であったと思います。

帰国後に開かれた記者会見

「きぼう」運用管制チームと

「きぼう」船内実験室でのタンパク質結晶生成実験
©JAXA/NASA

幕の内弁当的な「きぼう」の魅力

——「きぼう」で行う宇宙実験についてうかがいます。「きぼう」での実験で、特にここが優れていると感じたところはありましたか。

野口　日本の実験装置で特徴的なのは、幕の内弁当的というのでしょうか、非常にコンパクトにできていて、1つのラックの中にいろいろな機能が入っている。限られたスペースの中で、いくつもの実験を行うことができる工夫がされていると感じました。

——完成度の高さは世界に誇ってもいいのではないでしょうか。

野口　そうですね。日本の技術力の高さが発揮されていると思います。客観的にみても、ISSの中で「きぼう」の出来栄えは群を抜いているのです。ヨーロッパではかつてスペースシャトル用のスペースラブを作っていて、ISSのコロンバスは2代目のわけですけれども、日本はその段階を飛び越えて最先端の実験モジュールを作った。このことは評価されていいのではないかと思います。

——宇宙環境の利用がいよいよ本格化し、「きぼう」での有用な実験が次々に行われる時代に入りつつあるように思われますが、いかがでしょうか。

野口　これから日本人宇宙飛行士が1年半おきぐらいのペースで、ISSに長期滞在することになります。「きぼう」の実験もノウハウがどんどん蓄積していくと思います。これまでは実験テーマの提案から実施までだいぶ時間がかかっていましたが、今後はそれをどんどん短くし、サイクルを増やしていくことで、科学的にレベルの高い宇宙実験を行うことができるのではないかと期待しています。

観測用ユニット「キューポラ」　©JAXA/NASA

地上のサポートが宇宙での暮らしを支える

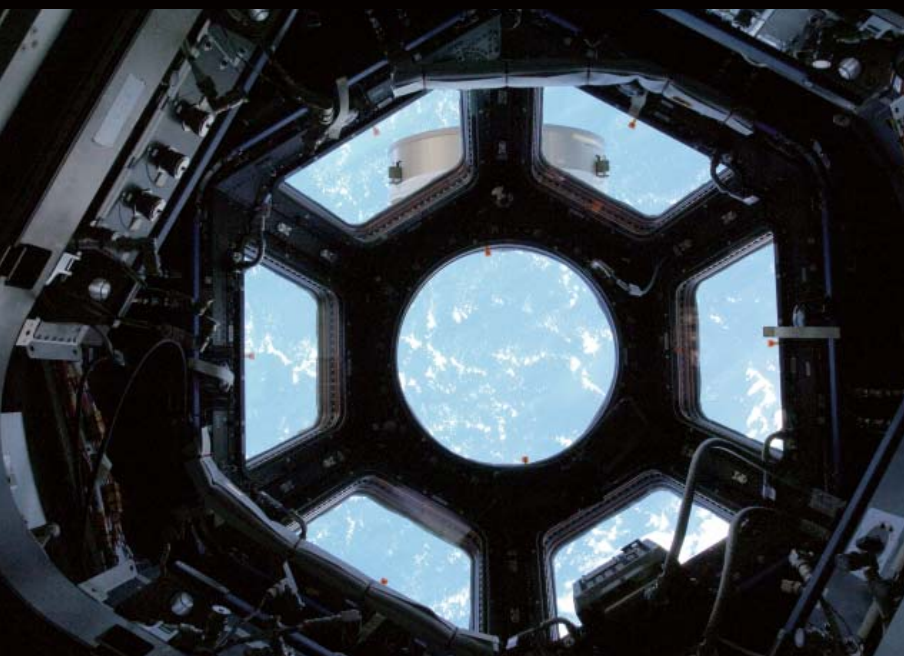
——野口さんが長期滞在中に、新しいモジュールである「トランクウィリティー」（ノード3）が取り付けられました。またロシアのMRM−1も付いて、ISSも最終形に近づいてきましたね。

野口　そうですね。アメリカ側はあと2回のシャトル打ち上げでおしまいになります。ロシア側はもう1つ大きなモジュールの打ち上げが予定されていますが、あと2年ぐらいかかるようです。トランクウィリティーはISSの循環型環境制御の中心になっています。MRM−1はロシアの初めてのサイエンスモジュールです。

——それから「キューポラ」が付いて、地球が良く見えるようになりましたね。

野口　地球をいつでも立体的に見ることができるというのは、キューポラの醍醐味ですね。他の窓はフラットですが、キューポラは出窓ですから。あそこで地球を撮影している人は結構多いですね。本来はISSのロボットアーム操作卓を設置する場所なのですが、最初は何もないただの窓だったので、本当に180度視界が開けていて、いくらでも写真が撮れたんです。今は操作卓が入ってしまったので、それだけの視界がないのは少し残念ですが、ロボットアームを操作する上で、アームの動きを目視できるというのは非常に大きいんです。

——地球にもどられてすぐの記者会見で、半年間はあっという間だったと話されました。今でも同じ感じでしょうか。

野口　今でもそう感じています。飛ぶ前には、半年間の宇宙滞在というのはどんなものなのかいろいろ想像していたのですが、行ってみたら意外に早かった。ただそう感じられるのは、やはりJAXAも含めて、ISSのクルーに対する精神的なサポートがうまく行っているからだと思うのです。電子メールもありますし、インターネットのニュースを見ることもできます。限られた時間ですが電話で地上と話すこともできます。いろいろな形で地上とつながっているという感覚がいつもありました。そういうことがうまく機能しているからこそ、半年間、あるいはそれ以上宇宙にいても精神的に安定しているのではないかと思います。

特集 地球の未来がここから生まれる

「きぼう」日本実験棟の成果

2009年7月、日本の有人宇宙施設「きぼう」が完成しました。船内には、流体実験ラック、細胞実験ラックなど最大23個の実験ラックが搭載でき、さらに、宇宙空間に曝された環境で実験を行う船外プラットフォームを装備。微小重力、高真空、良好な視野、宇宙放射線、豊富な太陽エネルギーなど、地上では得がたい環境を利用して、結晶生成や材料開発、技術実証など多彩な実験が行われています。「きぼう」での実験をもとに、地上で進む研究開発について、4人の研究者に話を聞きました。

デュシェンヌ型筋ジストロフィーの治療薬開発は最終段階に

タンパク質結晶生成実験

裏出良博 URADE Yoshihiro
大阪バイオサイエンス研究所　分子行動生物学部門研究部長

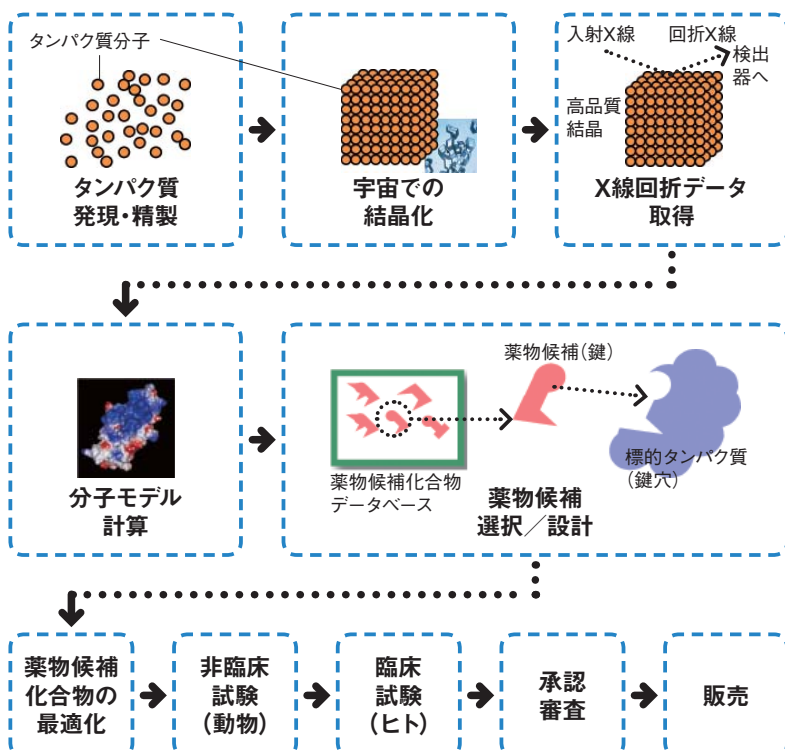
――先生が「きぼう」で行ったタンパク質結晶生成実験のサンプルは、6月に野口聡一宇宙飛行士と一緒に戻ってきましたね。

裏出　はい。現在、解析が進んでいます。更に次のサンプルが先日のプログレス補給船（39P）でISSに運ばれ、これから実験が行われようとしているところです。

――先生は宇宙でのタンパク質結晶生成実験に長い実績をお持ちです。宇宙でタンパク質の結晶を作ると、どのようなメリットが得られるのですか。

裏出　薬剤は、病気に関係したタンパク質に結合することによって効果を発揮します。薬剤とタンパク質の結合部は、「鍵」と「鍵穴」の関係にあります。鍵穴の立体的な構造が詳細に分かれば、それに合った鍵（薬剤）を開発することができます。これは、「鍵穴」の形が分からないまま、鍵（薬剤）を開発するのに比べ、格段に効率的ですから、現在の医薬品の開発では、タンパク質の構造を解析することが非常に重要になっています。宇宙の微小重力環境では、地上よりも質の良いタンパク質の結晶を作ることができます。これを地上に持って帰ってきて、兵庫県播磨にあるSPring―8（大型放射光施設）などで調べれば、地上で作った結晶では得られないような詳細な構造を知ることができるのです。また、JAXAではロシアとの協力により、ソユーズ宇宙船とプログレス補給船を利用し、2〜4カ月程度の実験を定期的（6カ月ごと）に実施できる体制を整備していていて、比較的短い期間で実験の準備から地上での

タンパク質結晶生成実験における医薬品開発・販売までの流れ

現在の医薬品開発では、タンパク質結晶の構造解析を行い、薬物候補化合物を設計する手法が主流となっている。宇宙の微小重力環境下では質の良い結晶を生成することができ、詳細な構造解析を行うことができる

構造解析までを行うことができるようになっています。これも研究者にとってありがたいことです。

――先生が研究されている筋ジストロフィーの治療薬について、教えて下さい。

裏出　筋ジストロフィーの中でも、デュシェンヌ型筋ジストロフィーは男児3500人に1人の割合で発症する難病です。全国に約3000人の患者がいますが、根本的な治療法はまだありません。この病気には、私が研究してきたプロスタグランジンD合成酵素というタンパク質が関係しています。プロスタグランジンD合成酵素が筋肉の萎縮や筋力低下の進行に関わっているのです。そこで、このタンパク質に、その働きを阻害すると考えられる化学物質を結合させて宇宙で結晶を作りました。その結果、結合の状況や結合部位の立体的な構造が詳しく分かったのです。これをもとにして、製薬会社と協力して、デュシェンヌ型筋ジストロフィーの治療薬の開発を開始しました。

――現在、どの段階にありますか。

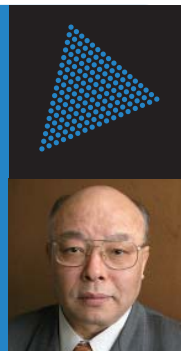
裏出　この化学物質を筋ジストロフィーのモデル犬に投与したところ、効果が確認されました。現在、ヒトに投与して大丈夫かどうかの安全性試験が行われています。これにパスすれば、フェーズI、フェーズIIという臨床試験に進んでいきます。デュシェンヌ型筋ジストロフィーは4～5歳で発症し、10歳前後になると歩行が困難になって車椅子の生活になってしまいます。患者本人にとっても、家族にとっても大変な毎日です。私たちが開発している薬は、根本的な治療薬ではありませんが、症状の進行を遅らせ、患者の生活を改善することができると思います。患者や家族の方には、希望はあると申し上げたいですね。

――宇宙での実験が新薬の開発に重要な役割を果たしているわけですね。

裏出　患者数の少ない病気を対象にした薬剤をオーファンドラッグ（希少疾病用医薬品）といいます。新薬の開発にはばく大なコストがかかるので、医薬品メーカーにとってオーファンドラッグの開発を行うことは、時間とコストを考えると難しい状況にあります。こうした分野こそ、JAXAのような公的機関が取り組む意義があると私は思っています。宇宙でのタンパク質結晶生成実験の結果をもとに薬剤の設計を行うところまでをJAXAと研究者が行い、その後、有力な薬剤候補を医薬品メーカーに提供することによって、オーファンドラッグを患者に届けることができるのです。

月へ、火星へ、その先へ
人が宇宙で長期間、安全に暮らすために
宇宙放射線の影響を探る

宇宙でのがん抑制遺伝子の働きの解明―Rad Gene

大西武雄 OHNISHI Takeo
奈良県立医科大学医学部放射線腫瘍医学講座特任教授

――先生の実験についてご説明ください。

大西　*p53*※という遺伝子は、「がん抑制遺伝子」として知られています。私たちのDNAに傷ができると、*p53*が働いてその傷を修復したり、修復が困難な場合は細胞を死にいたらしめたりすることで、DNAの損傷から私たちを守っています。とても大事な遺伝子です。スペースシャトルなどを使った実験で、私たちは1999年までに、宇宙に行ったマウスではp53タンパク質が地上よりもたくさん作られていることを明らかにし、論文として発表しました。この論文は大きな反響を呼び、p53タンパク質が増えているのは、宇宙放射線によるものなのか、微小重力が関係しているのかという議論が持ちあがりました。そこで、宇宙での*p53*遺伝子の働きを、遺伝子レベルで、しかも今度はヒトの細胞を使って調べてみようということになったのです。

――凍結したヒトの細胞を「きぼう」に持ちこみ、解凍して1週間程度培養してから再凍結して地上に持ち帰ったわけですが、実験はうまくいきましたか。

大西　大変うまくいきました。凍結したままで地上に持ち帰る細胞もあったのですが、サンプルを回収するスペースシャトルの打ち上げが遅れたため、細胞は133日間、宇宙放射線にさらされました。私たちが許容している被曝の範囲内の放射線量が当たったため、宇宙放射線が生物細胞にあたえる影響を調べるのに非常によいサンプルが得られました。実際、宇宙放射線によるDNA損傷を可視化することにも成功しましたし、宇宙放射線に被曝した証拠も得られました。

――*p53*遺伝子に対する宇宙放射線や微小重力の影響を、どうやって調べたのですか。

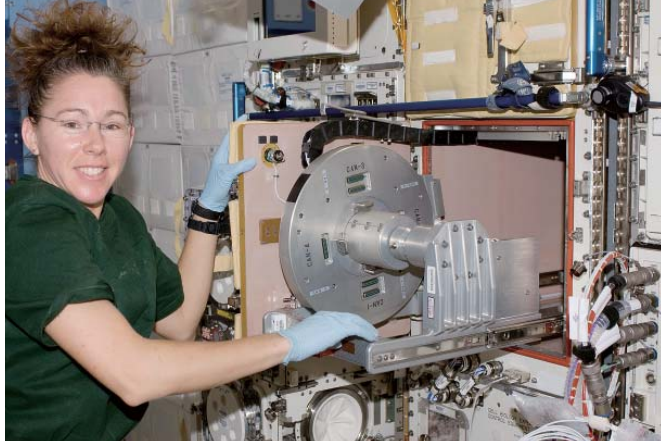
大西　「きぼう」の細胞培養装置には、遠心力によって地上と同じ

培養バッグ
ヒトの細胞
ビーズ
打ち上げ（凍結）
A
B
培養（37℃）
培養終了
回収（凍結）

ヒトの細胞は「培養バッグ」に入れられている。Aには凍結した細胞と培地が、Bには培養後に凍結するための薬剤が入っている。2部屋に仕切られた状態で凍結して打ち上げ、宇宙で培養。終了後、A、Bの液を宇宙飛行士が混合する。A、Bの部屋にはビーズが入れてあり、液が混ざった目印になっている。その後再び凍結し地上に回収する

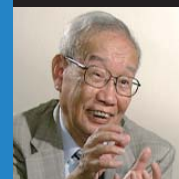
※生命科学分野では遺伝子を指すときは「*p53*」のように斜め文字で表記

1Gの環境を作る装置があります。そこで、ヒトの細胞を微小重力と1Gの両方の環境で培養し、さらにコントロールとして地上でも培養しました。培養した細胞は*p53*遺伝子が正常に働く細胞と、働かない細胞です。これらの細胞を比較すると、*p53*遺伝子に対する宇宙放射線の影響だけ、あるいは微小重力の影響だけを単独で取り出すことができました。

——これまでのところ、どんな結果が得られていますか。

実験中のサンドラ・マグナス宇宙飛行士 ©JAXA/NASA

大西　宇宙で培養した細胞を地上でもう1度解凍して、取り出したmRNAから合成したDNAをDNAアレイで解析しました。DNAアレイでは約3万個の遺伝子が分析できます。宇宙で培養している間に、どの遺伝子が*p53*によって発現を誘導されたか、あるいは発現が抑制されたのかが分かるのです。その結果、宇宙放射線の影響によって発現された遺伝子が約100、微小重力の影響によって発現された遺伝子が100、両方の影響で発現された遺伝子が約300あるという結果がでました。

——ずいぶんたくさんの遺伝子が発現されているのですね。

大西　そうです。*p53*遺伝子に関係している遺伝子が新たにたくさん見つかったわけです。一方、*p53*遺伝子そのものはあまり発現していませんでした。したがって、以前の宇宙実験においてマウスで*p53*タンパク質が増えていたのは、打ち上げから帰還までのストレスによるものである可能性が大きいことも分かりました。今回の実験結果は、将来、宇宙飛行士が火星などに行く場合の長期の宇宙放射線被曝の防御対策に大変役立ちます。さらに、*p53*に関係している遺伝子が新たにたくさん見つかったことは、宇宙分野に限らず、「ゲノムの番人」とよばれるこの重要な遺伝子の基礎研究に広く重要な情報を与えるものです。

将来宇宙で植物を栽培する日のために
ライフサイクルを読み解く

微小重力環境における高等生物の生活環—Space Seed

神阪盛一郎 KAMISAKA Seiichiro
富山大学大学院客員教授、大阪市立大学名誉教授

——実験の目的をお聞かせください。

神阪　高等植物の生活環、すなわち、植物が種子から発芽して成長し、花が咲いて種子ができるまでを、宇宙で観察しようというものです。植物は地上で1Gに適応して進化してきました。植物細胞は細胞壁に囲まれており、これによって、重力に逆らって自分の体を支えています。細胞壁の強化は、今から4億年ほど前に陸上に進出していった植物の、1Gの環境に適応するための工夫の1つだったのです。実験目的は、宇宙で植物を育て、重力の無い環境でも生活環を全うし、次の世代を作ることができるのかを調べることですが、それに加えて、その細胞壁が重力の無い環境にいったらどうなるのか、また、植物の成長に関係した植物ホルモンの生産が宇宙ではどうなるのかも、知りたいと思っています。

——実験はどのように行われましたか。

神阪　実験する植物にはシロイヌナズナを用いました。シロイヌナズナの種子を植物実験ユニット（PEU）の中のロックウールに埋め込み、宇宙で種子から成長させます。植物を育てる透明プラスチック容器は5cm立方とコンパクトです。このPEUを8個宇宙に持って行き、「きぼう」の細胞培養装置にある微小重力区と人工重力区に各4個セットし、成長の様子を毎日観察しました。給水後3日目に発芽し、その後順調に成長しました。給水後33日目、ボルティングといって花茎が急速に伸びつつある段階で、2つの重力区からPEUを2個ずつ取り外しました。残りの4個は再度給水し、植物が花を付け、さやができるまで培養しました。各試料は冷蔵・凍結して地上に持ち帰りました。さやの中の種子が発芽できるかどうかは、今慎重に分析しているところですが、宇宙で微小重力と1Gの両方の条件で植物の生活環を調べた実験は、これが世界で初めてです。

——植物の成長の様子を毎日地上のモニターで見ていて、何か気づいたことはありますか。

神阪　1つは、ボルティングの始まる時期が、微小重力の方が2日ほど早かったことです。それから葉の茂り方も違っていました。1G下の植物の葉は、タンポポの葉のように容器の底に放射状に展開

微小重力(左)と宇宙での1G重力環境(右)で育てたシロイヌナズナ(33日目) ©富山大学/JAXA

植物を育てるプラスチック容器を手にするニコール・ストット飛行士 ©JAXA/NASA

していましたが、微小重力下の植物は上向きに万歳するような格好でした。おそらく重力の影響が無いためでしょう。さらにもう1つ、これは予想していなかったのですが、微小重力下では、葉が茶色になって老化していく時期が遅れていたことです。これにはエチレンという植物ホルモンが関係していると私たちはみています。

――こうしたことは、遺伝子を調べることで分かりますか。

神阪 33日目で取り外したサンプルは、ボルティングの時期なので遺伝子が活発に働いていると考えられます。これをDNAマイクロアレイで解析して、どんな遺伝子が働いているかを調べてみることになっています。エチレンをはじめ植物ホルモンを作りだす遺伝子や細胞壁に関与する遺伝子などについて、いろいろなことが分かるのではないでしょうか。

――遺伝子解析の結果に期待できそうですね。

神阪 ISSの建設が遅れている間に、植物のゲノムの研究が進み、シロイヌナズナの全ゲノムも2000年に解読されました。ゲノム科学の進歩は、植物の生活環に対する宇宙環境の影響を遺伝子レベルで調べることを可能にしました。それから、このような実験結果が得られたのは、JAXAが作ってくれたPEUのおかげです。温度や湿度、光の量なども細かくコントロールできる素晴らしい装置です。

世界的に意義のある実験結果を観測
学術的進歩に貢献し、半導体材料への応用も

マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその遷移過程 ―Marangoni Experiment in Space/MEIS

西野耕一 NISHINO Koichi
横浜国立大学大学院工学研究院教授

――なぜ、宇宙で実験をする必要があるのでしょうか。

西野 マランゴニ対流というのは、表面張力の差によって生じる対流で、半導体材料であるシリコン結晶を製造する際などに影響を与えていると考えられています。身近なところでは、パソコンの冷却に使われるヒートパイプの性能などにも関係しています。ところが、地上では重力によって生じる熱対流の効果が勝っているために、マランゴニ対流による現象を研究するのは難しい。そこで、重力の影響のない宇宙で実験を行う必要があるのです。

――MEISでは、特に何を調べようとしていますか。

西野 マランゴニ対流は温度差があると発生しますが、温度差が大きくなっていくと振動流というものが発生し、やがてカオス状態になってしまいます。振動流が発生すると、たとえば半導体製造工程では、良いシリコン結晶が得られなくなります（シリコンウェハ上で性能のばらつきができる）。そこで、シリコンオイルの長い液柱を宇宙で作り、この振動流が発生する温度差（臨界温度差）やその他の条件を調べ、振動流の発生メカニズムを解明しようとしています。

――MEISは全部で5回のシリーズ実験が行われることになっていて、これまでMEIS1とMEIS2が行われました。MEIS1ではどのような成果が得られましたか。

西野 この実験が「きぼう」で始まるまで、15年かかりました。ですからMEIS1ではまず、長い間準備してきた実験装置がちゃんと動き、直径が大きく、アスペクト比（液柱の直径に対する長さの比）の大きな液柱ができることを確認できたということが、一番大きいと思います。その結果、長い液柱を用いて臨界温度を測定することができました。

――どのくらいのサイズの液柱を作ることができたのですか。

西野 液柱の直径は30㎜です。長さは最大で60㎜の液柱が作れました。アスペクト比でいうと2ですね。地上実験では、直径は3㎜とか6㎜です。重力の影響のため、長い液柱を作ることはできず、アスペクト比でいうと0.6くらいが限界です。ですから、直径も長さも大きな液柱で長い時間をかけて実験するには、宇宙しかありません。

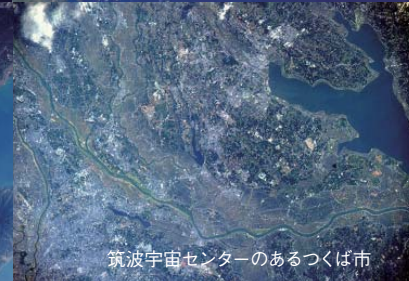
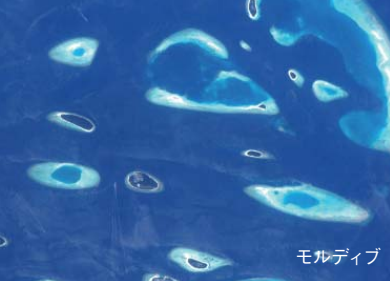
地上では実現し得ない長さ60mmの液柱の形成に成功。
世界で初めて、詳細で鮮明なデータが得られた ©JAXA/NASA

――MEIS2ではどのようなことを調べましたか。

西野 MEIS1ではアスペクト比0.5くらいまでの臨界温度差までしか測定できませんでした。そこでMEIS2では、アスペクト比0.5から2までのデータをとりました。系統的な実験条件において、この範囲のデータがとれたのは、世界で初めてです。また、これまで地上実験やロケットを用いての実験結果が理論値と異なり、実測と理論とどちらが正しいか分からなかった点についても、信頼性の高いデータが得られたと考えています。さらにMEIS2では、振動流が生じたときの流れがどうなっているかを3次元的に調べるために、3台のCCDカメラで観測を行いました。液柱表面の流速を測ることも行いました。この計測では、シリコンオイルに染料を入れておき、レーザー光を当てて発色させ、流速を測定する方法がとられています。

――マランゴニ対流の性質がだんだん分かってきますね。

西野 これからMEIS3、4、5が行われますし、JAXAの依田眞一先生の「マランゴニ対流における時空間構造」の実験や、日米カナダ共同の実験も「きぼう」で行われます。大きな液柱での実験ができる装置を持っているのは「きぼう」だけなので、ヨーロッパの研究者とも共同研究を進めています。宇宙環境の特徴を生かして、日本を中心にマランゴニ対流を徹底して解明しようとしています。こうした宇宙で行うマランゴニ対流の実験を体系化していけば、世界のさまざまな分野の研究者に非常に有益なデータを提供し、科学の発展に貢献することができると思います。

宇宙から見たオーロラ　山形　愛知　金星と夕焼け　北九州　筑波宇宙センターのあるつくば市　大西洋上空に発生した台風　南鳥島　種子島宇宙センターのある種子島　キューポラからの地球の眺め　バハマ　犬のような形の島(ケープタウン付近)　富士山　ケープコッド　クライストチャーチ　モルディブ　グレートバリアリーフ　エーゲ海　ネコのような形の島(地中海)

「まるごとの地球」を撮しとめた

「これから東京上空を通過します」との予告の後に、輝きながら夜空をパスする国際宇宙ステーション(ISS)。そしてしばらく後にパソコンを開くと、宇宙からの今夜の夜景を目にすることができる……。

2010年1月、野口聡一宇宙飛行士らが滞在する国際宇宙ステーション(ISS)に常時接続のインターネット回線が整備された。この回線を使って野口飛行士は、実験や設備メンテナンスなど本来業務のかたわら、過去に例がないほど大量の写真を自身の手で送り続け、世界中から熱狂的な支持を集めた。

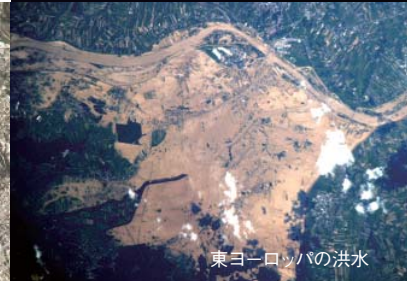
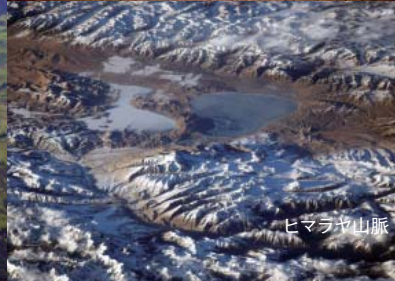
珊瑚礁や砂州の造形の写真ならば観測衛星画像もじゅうぶんに美しい。しかしイヌやネコ、あるいはハート形など奇妙な形をした島嶼を見つけるには、それを面白がる「人間の視点」があったから。さらにはスポーツの祭典が開かれている都市を撮ってエールを送り、大災害や疫病に苦しむ街の写真に励ましのメッセージを添えたことも、共感の輪を拡げた。

個人的には500数十枚に及ぶ宇宙からの写真の中の最後が富士山であった点にとりわけ感じ入った。7名の宇宙飛行士が搭乗していたコロンビア号から最後に送られた地上の写真が、やはり美しい富士山の姿だったからだ。遺族のケアにまで関わった彼がそれを知らないはずはない。亡き同僚たちの作品へのオマージュか、あるいは再突入に向けての緊張感か。そんな覚悟までが見える富士山だった。

よい写真には、撮影者の想いが撮しとられているというが、これらの写真が宇宙飛行士の心持ちを想像させてくれる「よい写真」であることは、見た人なら納得いただけることだろう。

文・喜多充成

Image credit:JAXA/NASA

桜島の噴火
アマゾンの森林伐採
メキシコ湾の重油流出
地平線からの月の出
カリブ海の火山
チリ地震
ハイチ地震
東ヨーロッパの洪水
上海
モスクワ
東京
北京
パリ
ワシントンD.C
フィレンツェ
ブルージュ
アルタイ
メコンデルタ
グランドキャニオン
カンクン
ウルル
南アフリカの海岸線
アマゾン川流域
ヒマラヤ山脈
紅海

ロン」の挑戦

打ち上げの様子（イメージ）

**「世界最高の固体ロケット」と呼ばれたM-Vロケットが、
太陽観測衛星「ひので」の打ち上げに成功し、惜しまれつつ退役したのは2006年9月23日のことだった。
そして4年あまり。後継機となる次期固体ロケット「イプシロンロケット」が、2013（平成25）年度の初号機打ち上げに向け
本格的に動き出している。H-ⅡAロケットの補助ブースターを流用する第1段と、M-Vロケットの上段の改良型を組み合わせ、
宇宙への敷居を下げるというスローガンのもと進められてきた開発プロジェクトのこれまでと、
注目すべきハードウェアやシステム、そしてその先のビジョンを、
プロジェクトマネージャーの森田泰弘教授に聞いた。**

森田泰弘
MORITA Yasuhiro
宇宙航行システム研究系教授

「モバイル管制」の実現のために

―森田先生は以前から「パソコン1台でロケットの発射管制を可能にする」とのビジョンを打ち出していました。

森田　何百人もの人間が射場で合宿生活を送り、何カ月もかけて整備作業を行う。個人的にはそういう生活はキライではないのですが、未来のロケットを考えたとき、そこまで手間や人手をかけていてはいけないと思いました。もっと運用性を高めなければいけない。最新の民生技術を導入すれば、発射管制に関わる機器やシステムは大幅に簡素化でき、パソコン1台での「モバイル管制」も可能になるはずだし、それを目指さねばならない。こう訴え続けてきました。

―ロケットは先端技術の塊というイメージを持たれています。

森田　先端ではあっても、最新ではないですね。信頼性が何より重視されますから、どうしても実績のある技術、枯れた（欠点が出つくした）システムが使われることになる。

―むしろ新技術に臆病？

森田　否めませんが、そこに改善の余地もあった。整備組み立てまで含めた打ち上げシステムとして全体を見たときに、やるべきことはまだまだあったわけです。そこで私たちはまず、ロケットの「知能化」に取り組みました。ロケット自身が自分の健康診断を行なう。

―セルフチェック機能というと、身近な電子機器も備えていますね。

森田　コピー機や自動車などでも当たり前ですよね。医療機器も、機械自身が知能を持って、お医者さんの代わりに判断することが「AED（自動体外式除細動器）」など全く当たり前になっています。そうしたノウハウをロケットの業界にも持ち込むことで、地上作業の負担を大きく減らし、コストダウンと信頼性アップにつなげたい。

炭素繊維の成形法にまで踏み込む

―ハードウェアで目新しい部分は？

森田　炭素繊維製の第2段と第3弾のモーターケース（推進剤容器）の改良に着手しています。

―炭素繊維というと、ゴルフクラブやスキー板などスポーツ用品から普及を始め、最近では航空機の構造材にも使われるようになってきました。民生品として市場を広げた日本が、世界的にも強みを持つ分野ですね。

森田　M－Vロケットの第3段ロケットで初めて、炭素繊維によるモーターケースを採用し、推進薬の重量比で世界一を達成しました。「はやぶさ」を打ち上げた5号機からは第2段ロケットでも採用しています。イプシロンロケットではさらに軽量化しようとチャレンジしています。おっしゃるとおりこの分野は民生技術が先行しており、例えば医療機器の携帯用酸素ボンベなどでも炭素繊維製のものが使われているんです。軽量であることは当然ながら、最近では飛行機の機内持ち込みも認められるほど信頼性も高いものです。

―炭素繊維でモノを作るときは、繊維を並べてシート状にした「プリプレグ」を重ね合わせて形を作っていきますよね。ちょうど型に包帯を巻くように。巻き終わったら熱と圧力をかけ、接着剤を浸透させて固める……。

森田　高性能が要求される上段ロケットの場合、成形のためには非常に大がかりな高圧の釜が必要になっていますが、これがコストアップにつながっている。圧力をかけなくとも、あるいは部分的な加熱でも、ちゃんと接着剤が浸透して強度が出せる方法はないかと検討しています。

新たなアイデアの検討も開始

―推進剤については？

森田　当面は現状のままですが、イプシロンロケットをさらに進化させるため、いろんな材料の探索を始めています。なかでも熱可塑性の固体燃料に期待をしています。

―熱をかけると柔らかくなる材料？

森田　これまでのものと全く逆なんですね。従来はドロドロの推進剤を注意深くモーターケースに流し込み、熱をかけて固めて成形してきました。気泡ひとつ残さないよう、一発勝負の非常に緊張する作業でしたし、推進剤も必要量を一度に用意しておかねばならない。ところが熱可塑性だと、温めれば何度でも柔らかくなるわけですから、多少の気泡は後で何とかなる。継ぎ足しだって可能です。

―途端にコストが安くなりますね。でも、熱で柔らかくなるとしたら、燃焼時に問題が出ませんか？　点火と同時に固体燃料がドロドロと……。

森田　心配はごもっとも。でも熱が伝わるより速く燃焼が進むような推進剤を作ればいいし、それは可能です。

―他にもアイデアがありそうですね。

「モバイル管制」の想像図

打ち上げ成功のその先へ

次期固体ロケット「イプシ

イプシロン諸元等		基本形態	オプション形態
		固体3段式	固体3段式+小型液体推進系
諸元	全長	24m	
	質量	91t	
打ち上げ能力	地球周回低軌道	1200kg(250km×500km)	700kg(500km circle)
	太陽同期軌道		450kg(500km circle)

森田　分離後に自分で滑空して帰ってくる「フライバックブースター」について、産業技術総合研究所の自律飛行の研究グループなどと検討を始めています。また飛行安全に関わる部分でもロケット自身にできることがあるのではないか、と。

――飛行安全というと、ロケットが所定の軌道を外れた場合に自爆の信号を送るという、とても重要だけどあまり出番があってほしくないお仕事……。

森田　ロケットを追尾するアンテナは非常に高性能かつ高価で、維持管理にもお金がかかる。地上からロケットの軌道を知るためにはそれほどのアンテナが必要なのですが、しかし飛んでいくロケットは、自分がどんな軌道を飛んでいるか、当然ながら分かっています。だから所定の軌道から外れたのかどうか、そして自爆する必要があるのかどうか。ロケット自身に判断させるようにすれば、高価な追尾アンテナは不要になり、地上設備もさらに簡易なものにできる。

――ロケットの信頼性が鍵ですね。

森田　じゅうぶん可能だと思っています。「モバイル管制」なんて言い出した頃には、「そんなことができるわけがないし必要もないだろう」という声もありました。でも時間をかけて検討し、シミュレーターなどで実証してみせることで、納得してもらえるようになりましたから。

――M―Vの遺産を継承しつつ、中身もシステムも全く別のロケットに生まれ変わっているわけですね。

森田　M―Vロケットはレーシングカー、それも最高峰のF1マシンでした。性能はすごいが、ピットに入ったときにはメカニックがガバッと集まって細心の整備が必要になるし、走らせるのもプロにしかできない。そういうマニアックなロケットを、最近の乗用車ぐらい簡単にしたい。ロケット業界をもっと身近な産業にしたいんです。

すべては「チャレンジ」のために

――ロケットがその方向に進化すると、人員も少なく設備もコンパクト。射場が寂しくなってしまいませんか？

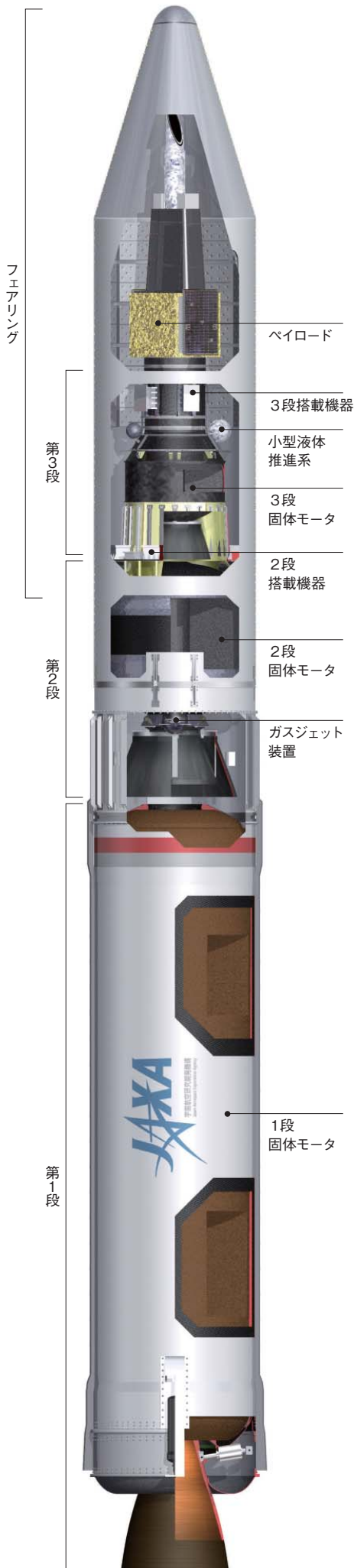
森田　その分、打ち上げ頻度を増やせます。極端な話、毎週でも上げたいくらいです。そして、だからこそ小型衛星なんです。プロジェクトの規模が大きいと、絶対に失敗できないし、プロマネも一世一代の大勝負。しかし打ち上げ頻度が増え、小型衛星が主流になってくれば、これまでは認められなかったような挑戦的なミッションも採択されるようになるでしょう。

――うまくいくかどうか分からないが、当たれば大きいミッションにも、チャンスが与えられる……。

森田　それが宇宙への敷居を下げる、ということだと思います。そもそもわれわれのロケットは、M―Vからの卒業、つまり固体ロケットの歴史がいったん断ち切られたところからスタートしています。ゼロベースでその意義を問い直し、周囲への説得を始め、プロジェクトが立ち上がってきました。諸先輩方が作ってくれた土俵の上で遊ばせてもらっているのではなく、自分たちで作ったステージの上でロケットを作っている。これはとても大きなことだと思っています。

――民生技術とロケット技術の敷居を引き下げようとするイプシロンは、小さく安く信頼性の高いものを作ることにかけては世界一の自負を持ってきた国ならではの、実に「日本らしい」ロケットでもありますね。

森田　低コストを目指していますが、単に安いだけではない。そこに未来につながるコンセプトがあるかどうかが問題です。私たちにはそれがある、と自負しています。

ISSのハイビジョンカメラで撮影された日本列島の夜景。無数の白い点は、宇宙放射線の影響でCCDについた白傷

人類の宇宙への挑戦を、映像で表現
「光るニューロン」

2008年9月11日「光るニューロン」が行われた。宇宙放射線の影響によりCCDに白傷のついたハイビジョンカメラを使って、過酷な宇宙環境と、挑戦し続ける人間の叡智を映像で表現しようという試みだ。代表提案者である野村仁名誉教授に話を聞いた。

「宇宙で目をつぶっている時に光を見た」

宇宙飛行士のこのひと言が芸術家、野村仁氏の創作の原動力となった。宇宙で眠る時、目を閉じたにも関わらず、光が見えることは複数の宇宙飛行士から報告されている。宇宙に降り注ぐ放射線が網膜または視神経にあたって見える光だと考えられている。「美術家は目から入ってくる情報について考え作品を作ってきました。『見る』ということの根本を再考させられます」と野村氏はその衝撃を語る。

その後、2002年に米国テキサス州ヒューストンを訪れ、日本人宇宙飛行士たちと会って、直接体験談を聞く機会を得た。「印象深かったのは、ぼくが、放射線が『アタックする』と言った折りに向井千秋宇宙飛行士からは『ヒットする』という言葉が返ってきたことです。つまり、放射線は何かを狙っているわけではなくて、宇宙空間に遍く存在していて、たまたま、視神経（ニューロン）に当ったことが報告されたのですね」

例えば、国際宇宙ステーションにあるハイビジョンカメラは長期間使っているうちに、画面にたくさんの白い点が見えてくる（画像参照）。これはカメラの中のCCD撮像素子に宇宙放射線がヒットしていることの証拠だ。映像を撮る側にとっては、この白点は邪魔なもの。だが視点を変えれば宇宙放射線の痕跡であり、いかに宇宙空間に放射線が降り注いでいるかという状況を報告するにはうってつけの材料とも言える。

宇宙放射線には太陽から降り注ぐ放射線や、遠い銀河から太陽系の外から飛来する銀河放射線など様々な種類があり、宇宙飛行士が長期滞在する場合には、放射線防護などの対策を考えなければならない。一方、地球では大気や地球磁場に守られて、一次宇宙放射線が地表まで達することは少なく、森羅万象が循環する過程で生命も進化してきた。今、地上には四季折々、多種多様な生物が溢れ命を謳歌している。一方で宇宙は、野村氏に言わせれば「生命不足」だ。

「宇宙飛行士の方との面談で、ミール宇宙船の中でゴキブリが出た話を聞きました。地上だったらゴキブリは嫌われてすぐに排除しますよね。でも宇宙では、同じ地球の生命体とみなされたわけです。『生命不足』の環境だったからでしょうね。ところが地上から交替の宇宙飛行士が到着しゴキブリを見た時にパシっと（笑）。宇宙と地上とでは生き物に関して異なる感覚を抱かざるを得ないんだと思いました」

野村氏は「生命溢れる地球」と「生命不足の宇宙」とを対比しつつ、放射線という厳しい環境を克服し挑戦を続ける人類の宇宙への営みを、映像で表現しようとしている。

宇宙で使った“白傷つき”カメラで地上の生命を撮る

作品は宇宙で撮影した映像と、地上で野村氏が撮影中の映像から構成される予定だ。

宇宙の映像は、NASAのグレゴリー・シャミトフ飛行士に依頼した。「きぼう」日本実験棟内や「きぼう」の窓から見える地球の様子を、08年9月にハイビジョンカメラで撮影。一方、野村氏は宇宙で使われ、放射線によって撮像素子に白傷がついたハイビジョンカメラを用いて、10年春頃から地上での撮影を始めている。今、こだわっているのは植物だという。

「生命の進化において、動物よりも先に水中から陸にあがったのは植物です。浅瀬の藻が上陸を果たすには、最初の陸上植物から、四季折々の光景を生みだす多様な種が繁茂するのと同様の、想像を超える遥かな時間が必要でした」

人類が宇宙に行く今の状況は、水中から陸に生命が上がった時と同じような進化の過程と言えるのだろうか。そんな問いも含めながら、野村氏は植物が地上に上がった約4億年前からの進化の歴史を映像にできないか、模索を続けている。

野村仁
NOMURA Hitoshi
現代芸術家。京都市立芸術大学名誉教授。同大学とJAXA（当時宇宙開発事業団）の共同研究「宇宙への芸術的アプローチ」のメンバーを務めた。ISSの文化・人文社会科学利用パイロットミッションでは「ISS宇宙飛行士の'moon' score」と「光るニューロン」の2テーマの代表提案者。現在、カメラや三脚など7.5kgの機材を携えて、地上の生命を追いかけている。動物を含めるかは検討中だ

舞い戻った「はやぶさ」の暑い夏

6月13日に地球への帰還を果たした小惑星探査機「はやぶさ」。世界初であるがゆえに発生した数々の困難を克服した技術者の取り組みや、諦めない心、傷ついた探査機の擬人化、その再突入の映像の鮮烈さなどのために国民的な人気を博しているようです。忘れ形見として残った再突入カプセルを、各地で大勢の方にご覧いただいています。

相模原キャンパス(上)
丸の内オアゾ(下)での
カプセル展示の様子

初公開は相模原キャンパス特別公開

７年の歳月を過ごして地球に戻ってきた再突入カプセル。それが世界で初めて一般に公開されたのが７月30日(金)と31日(土)に開催されたJAXA相模原キャンパスの特別公開です。唯一無二の研究試料を手にしてすぐさま研究に取り掛かりたい研究者に少しのあいだ辛抱してもらい、専用の展示ケースなどの準備を粛々と進めました。とはいえ狭いキャンパスに例年１日１万人程度が詰めかける特別公開に、再突入カプセルの特別展示が加わるわけですから、大混雑となるのは必至でした。そこで、混乱を少しでも回避するために、隣接する相模原市立博物館に特別展を中断いただいて、特別展示室をお借りすることにしました。それでも当日は早朝から「はやぶさ」カプセル展示待ちの長蛇の列(最大４時間待ち)が発生し、２日目には開場を９時に繰り上げてもらいましたが、一時は列が伸びて相模原キャンパスの構造機能試験棟や飛翔体環境試験棟の出入口をブロックするほどになり、待ち行列の受付を一時中断するなどする必要があったぐらいです。あまりの行列の長さに見学を断念した方も多いようです。

カプセル展示の方の入場者は初日が約１万3,000人、２日目が約１万7,000人と聞いています。８時間で１万7,000人をさばいたということは、単純計算でも1.7秒に１名のペースで人を流したことになります。並ばれた皆さんはさぞかしお疲れのことだったと思いますが、アンケートを見る限り満足度もかなり高かったようです。列に並んでいた方からは、行列のマナーもとてもよかったとうかがいました。

すぐに筑波宇宙センターへ移送

７月31日の夕方に相模原キャンパスの特別公開を終えたのち、夜を徹しての作業が行われ、１日の早朝にはカプセルを筑波宇宙センターに搬入、８月２日から５日にかけての一般公開に備えました。カプセル、特に機械的にもろいヒートシールドへのダメージを極力抑えるため、輸送にあたってはエアサス車を使うだけでなく、継ぎ目の少ない湾岸道を選び、時速70km程度で走行するほどの念の入れようです。

つくばでの一般公開に先立って１日には天皇、皇后両陛下も視察に立ち寄られ、興味深げにご覧になりました。

日かげのない筑波宇宙センターでは待ち行列中の熱中症対策が最大の懸念事項でしたが、それ以前に駐車場待ちの行列ができ、屋外でお待ちいただく時間は案外短くて済んだようです。

丸の内でも好評

８月15日から19日にかけては丸の内でもJAXA iサマーウィーク「おかえり、はやぶさ〜君が私たちに残してくれたもの〜」特別イベントが開催されました。これは毎年恒例の子ども向けイベントに加え、カプセルの展示と、関係者によるトークショーを行うというものです。トークショーは初日である15日に丸善・丸の内本店３階の日経セミナールームをお借りしての実施となりました。総入れ替えでの３部構成でしたが、各回120人の定員に対して６倍強もの応募があったそうです。私は対談の聞き手として３回全部に登壇しました。

一方のカプセル展示の方は丸の内オアゾ１階の「○○広場(おおひろば)」で実施しました。立地のよさから大混乱が予想されましたが、時間が８時から20時、日程も５日間とゆとりがあり、整理券を配布するなどした結果、とてもスムーズに公開できたようです。

なお、近隣の店舗でも「はやぶさ」記念特別サービスで「はやぶさ」ランチなど特別メニューが登場し、丸の内が「はやぶさ」一色となりました。

そして全国行脚へ

相模原から始まったカプセル展示の見学者は、つくば、丸の内でも着実に数を伸ばし、８月19日に丸の内イベントが終了した時点で10万人を突破しました。これは大きめの科学館の年間来場者数に匹敵する数です。そしていよいよ９月からは角田と大阪を皮切りに、全国各地を回ります。この数を一体どこまで延ばすのか。７年間、60億kmを旅した「はやぶさ」の新たな旅の始まりです。

阪本成一
SAKAMOTO Seiichi
宇宙科学研究所教授/宇宙科学広報・普及主幹。専門は電波天文学、星間物理学。宇宙科学を中心とした広報普及活動をはじめ、ロケット射場周辺漁民との対話や国際協力など「たいがいのこと」に挑戦中。写真は待ち行列の人たちに状況を説明する筆者

宇宙を開発・利用するための国際的な法律「宇宙法」とは

宇宙にも法律がある。それは地球上の国々が宇宙の平和利用を目指した、国家間の取り決めだ。宇宙開発の歴史が始まって以来、世界の状況に合わせて変化し続ける宇宙法について、その概要と日本における状況を、宇宙法の専門家である青木教授にうかがった。

AOKI Setsuko

青木節子

慶應義塾大学総合政策学部教授。宇宙法、国際法を通じて商業、軍事、環境などの面から宇宙開発についての問題を研究。宇宙科学評議会評議員。著書に「日本の宇宙戦略」（慶應義塾大学出版）などがある

宇宙を利用するための国際間の取り決め、「宇宙法」とは

――まず宇宙法とはどういうものかお聞かせください。

青木　宇宙法というのは国際法の一分野として発達してきたもので、世界で初の人工衛星スプートニク1号が1957年に打ち上げられたのがきっかけになっています。宇宙に関する国家間の権利や義務について決めなければいけないということになり、スプートニク1号の打ち上げの1カ月後には、国連で、宇宙の平和利用や宇宙での領有権の否定などを内容とする総会決議が出ました。宇宙について最初に作られた条約は、67年の「宇宙条約」です。ここでは例えば第2条で「国が宇宙空間を領有してはいけない」と決められています。また、第4条では天体の平和利用の原則が、第6条では国際条約としてはただ1つ、企業の活動に対して国が直接に国際責任を持つことが決められています。

――そうすると、月の土地を売っている会社は違法ですね。

青木　国が領有してはいけないという規定を逆手にとり、企業が領有するならいいだろうと主張しているわけですが、企業の活動については国が責任を持つことになっているので、これは詐欺の行為でしかありません。

ところで、その後、宇宙活動の範囲が広がるにつれて、新しい条約が作られました。68年に「宇宙救助返還協定」が、72年に「宇宙損害責任条約」が、75年に「宇宙物体登録条約」が、79年に「月協定」が作られています。宇宙法というのは、宇宙開発が進むにつれ、それに合わせてその時の国際社会の状況で合意できる部分を積み重ねているものといえます。

――どのくらいの数の国が宇宙法を批准（国が条約に同意すること）しているのですか。

青木　批准した国が最も多いのが宇宙条約で、現在100カ国が批准しています。一方、批准国が最も少ないのは月協定で、13カ国が批准しているだけです。その中にはアメリカ、ロシア、中国、日本などの宇宙活動国は入っていません。月協定の内容は、月と月の資源を人類共通の遺産として国際管理をしていくというものですから、これらの国には同意しにくい面があります。国連に人工衛星を登録している国が約25カ国、人工衛星を運用している国が50カ国以下という現状を考えますと、宇宙活動を行っている国はすべて宇宙条約を批准していることになります。

――そうすると、すべての国が批准していなくても宇宙活動に問題はないわけですね。

青木　はい。それから、国際法には2つの種類があります。1つは条約です。もう1つは慣習法で、多数の国が同一の行動を長期間とれば、慣習法としてすべての国をしばると考えます。宇宙条約の大部分はすでに慣習法だと言われています。つまり、条約を批准して

いない国であっても、宇宙条約の基本的な部分については守るという世界の合意が得られていると考えるのです。

宇宙の民間利用と新しい法律

——これからは民間の宇宙利用がどんどん進んでいくと考えられます。こうした状況に現在の宇宙法は対応できるのでしょうか。

青木　宇宙条約では企業の活動に対して国家が「許可及び継続的監督」という方法で国際責任を負うことになっています。そこで、私企業が宇宙活動を行う国では国内法を整備して、どういう条件を満たせばその企業は打ち上げや衛星運用を行っていいのか、事故があった場合の賠償はどの程度のものとなるのか、そのために企業はどの程度の保険をかけておけばいいのかなどを決めています。現在、世界で約20カ国が、こうした国内法を持っています。

——アメリカでは民間の有人宇宙飛行を行おうという企業がいくつもあらわれていますね。

青木　国内法の整備は、やはりアメリカが一番進んでいますね。84年に早くも人工衛星の商業打ち上げの国内法を作っています。最初は国家補助をまったくせず企業の自立にまかせていましたが、アリアンロケットが現れると、88年に国が援助できるようにしました。98年には宇宙往還機を想定して、打ち上げだけでなく、大気圏再突入についての規定を入れました。また、２００４年には有人宇宙機の規定を入れた改正をしました。

遅れている日本での法整備

——日本での状況はいかがでしょう。

青木　日本が宇宙先進国であることは間違いないですが、宇宙科学の分野では一流であっても、宇宙の商業利用については先進国とは言えない状態です。これには大きな理由が2つあります。1つは、宇宙の非軍事利用を非常に厳しく遵守してきたことです。国際的には、防衛的な軍事利用は平和利用とされているのですが、日本の場合はそれもできなかったため、防衛的な先端宇宙技術を国が開発して、それを民間移転していくということができず、産業利用の基盤を作ることができないできました。もう1つは90年に日米衛星調達合意が締結されたことです。１９８０年代に日本の衛星産業はようやく離陸しそうになったのですが、この合意のために、研究開発目的以外の衛星は国際的な公開入札によって調達しなければならなくなりました。そのため、以後約20年間に、13機のうち12機をアメリカから買うことになり、日本の企業は商業利用の経験を積むことができなかったのです。

こうした状況に対する危惧から日本の宇宙戦略の見直しが行われたことが、08年に成立した宇宙基本法につながっています。

——宇宙基本法は宣言に近いものでした。

青木　そうですね、宇宙基本法は政策法で、宇宙産業を活性化させ、日本を総合的に高い宇宙能力を持つ国にしようというのが一番のポイントです。その点からすれば、目的は果たしたのですが、その後が続いていません。宇宙基本法では、2年以内に宇宙活動法を作ることになっていましたが、いまだ国会に提出できない現状です。10年3月に公表された宇宙活動法制検討ワーキンググループの「中間取りまとめ」を見る限りでは、この結論をもとにバランスの取れた良い法案を作ることができると思います。

宇宙活動法を早く制定し、付随する免許規則を政令、省令で作ることによって、中小企業やこれまで宇宙活動を行っていない企業も宇宙に参入しやすくなるような透明性のあるしくみを作っていくべきです。

カナダに留学し、宇宙法の世界へ

——先生はどのような経緯で宇宙法に携わるようになったのですか。

青木　それがすごい偶然なのです。大学院にいた頃は研究者になるつもりはなかったのですが、1人暮らしがしたくて、カナダのモントリオールに留学することにしました。カナダ政府の奨学金の条件は、カナダ研究で、その時の選択肢が、イヌイットか、カナダで研究が進んでいた宇宙法だったのです。

——イヌイットか宇宙法か、ですか。

青木　修士論文は海洋法でしたが、そこで専門を変えて宇宙法を選びました。研究を始めると面白くなりました。宇宙法に出合えてよかったと思っています。とても幸運でした。

宇宙に関する条約と協定

	正式名称	内容
宇宙条約	月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約	平和利用の原則、領有の否定、国の専属責任、国際協力など、宇宙活動における一般原則を規定。
宇宙救助返還協定	宇宙飛行士の救助及び送還並びに宇宙空間に打ち上げられた物体の返還に関する協定	事故、遭難又は緊急着陸の場合に宇宙飛行士の救助・送還、および物体の返還を定めている。宇宙条約5条・8条の規定を具体化したもの。
宇宙損害責任条約	宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約	打ち上げ国が宇宙物体の落下によって第三国に物理的損害を引き起こした場合、打ち上げ国は無限の無過失責任を負う。宇宙条約6条・7条の規定を具体化したもの。
宇宙物体登録条約	宇宙空間に打ち上げられた物体の登録に関する条約	宇宙物体の識別を目的としたもので、打ち上げ国は国内登録簿への記載、国連事務総長への情報提供が義務づけられる。
月協定	月その他の天体における国家活動を律する協定	月やその他惑星の国家や私人による領有を否定。月と月の資源が人類の共通遺産であり、国際レジームにより商業開発を行うことなどが定められている。

最　前　線

INFORMATION 1

準天頂衛星初号機「みちびき」打ち上げ

2010年9月11日20時17分、準天頂衛星初号機「みちびき」が、種子島宇宙センターからH-ⅡAロケットで打ち上げられました。ロケットは正常に飛行し、打ち上げ後28分27秒に「みちびき」を分離したことを確認しました。準天頂衛星システムは、日本のほぼ天頂（真上）を通る軌道を持つ人工衛星を複数機組み合わせた衛星システムで、このシステムが実現すれば、常に1機の人工衛星を日本上空に配置することができます。人工衛星がほぼ真上に位置することで、山間部や都心部の高層ビル街など、GPS衛星の電波が測位を行うために必要な数の衛星（※）が見通せない場所や時間においても、準天頂衛星の信号を加えることによって測位ができる場所と時間を拡げることができます。「みちびき」は、準天頂衛星システムの初号機として、GPS補完・補強に関する技術実証・利用実証を行います。

※測位を行うためには、4機以上の人工衛星から測位信号を受信する必要があります。

「みちびき」特設サイトはこちら
http://www.jaxa.jp/countdown/f18/index_j.html
ツイッターはこちら
http://twitter.com/QZSS

打ち上げの様子と、
準天頂衛星システムイメージ図（下）

INFORMATION 2

古川宇宙飛行士のISS長期滞在に向けた訓練公開

9月1日、筑波宇宙センターにて、古川聡宇宙飛行士の国際宇宙ステーション長期滞在に向けた訓練のプレス公開が行われました。今回の訓練では温度勾配炉（Gradient Heating Furnace: GHF）が対象となりました。GHFは、「きぼう」日本実験棟船内実験室に設置される勾配炉ラックにある実験装置で、半導体材料の結晶成長実験などを行うための装置で、HTV2により打ち上げられます。打ち上げるGHFと全く同じ地上モデル（訓練や地上実験用の実物大モデル）を使用して、GHFの設定作業や、実験で使用する試料カートリッジをGHF内部から取り出し、地上に回収するために梱包する作業などの手順を、手順書に沿って訓練しました。訓練終了後、古川宇宙飛行士は報道関係者からの質問に答え「医師として、科学者として、またISSの運用者として、宇宙でいい仕事をしたい」と抱負を語りました。古川宇宙飛行士は、2011年春頃から約6カ月、ISSに長期滞在する予定です。

試料カートリッジの
梱包手順を確認する
古川宇宙飛行士。
左はGHFの地上モデル

INFORMATION 3

JAXAシンポジウム2010 in 名古屋

「世界に羽ばたく日本の宇宙開発と航空技術」開催

乱気流検知システムについて説明する張替正敏運航・安全技術チーム長

9月10日、名古屋にてJAXAシンポジウムが開催されました。東京以外の場所で開催するのは初めてのことです。ナビゲーターにノンフィクション作家の山根一眞氏を迎え、第1部「空の事故を減らす—乱気流検知への挑戦—」では、米ボーイング社と共同で研究開発をしている、航空機用の乱気流検知システムの実用化への取り組みを紹介。第2部「我が国最大「H-ⅡB」ロケットの開発と日本初の宇宙船「HTV」の開発と運用、そして今後の展開について」では、HTV開発における国際協力面で大変だったことや、HTVの技術を応用した日本の有人宇宙船の可能性などを紹介し、満席の会場では参加者が熱心に耳をかたむけていました。

向井千秋宇宙飛行士から説明を受ける両殿下　©読売新聞社

INFORMATION 5

皇太子さま筑波宇宙センター視察

皇太子さまは、オランダのアレキサンダー皇太子とともに、9月14日筑波宇宙センターを視察されました。両殿下は水利用にご関心が高く、人工衛星を利用した水資源への取り組みに関する説明を受けられ、GCOM-W1のフライトモデルを視察されました。また、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」の運用管制室では、向井千秋宇宙飛行士から国際宇宙ステーションでの水の再利用などについての説明を受けられました。

川口プロジェクトマネージャから説明を受ける天皇、皇后両陛下　©茨城県

INFORMATION 4

天皇、皇后両陛下「はやぶさ」カプセル視察

8月1日、筑波宇宙センターを訪問された天皇、皇后両陛下は、小惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰ったカプセルを視察されました。ヒートシールドの実物などを前に、川口淳一郎プロジェクトマネージャに熱心に質問されました。

INFORMATION 6

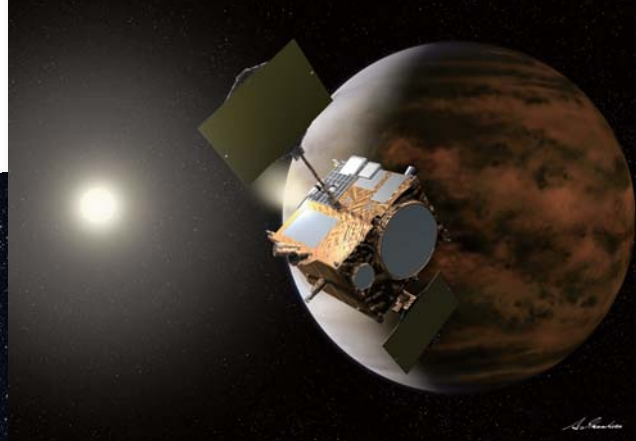
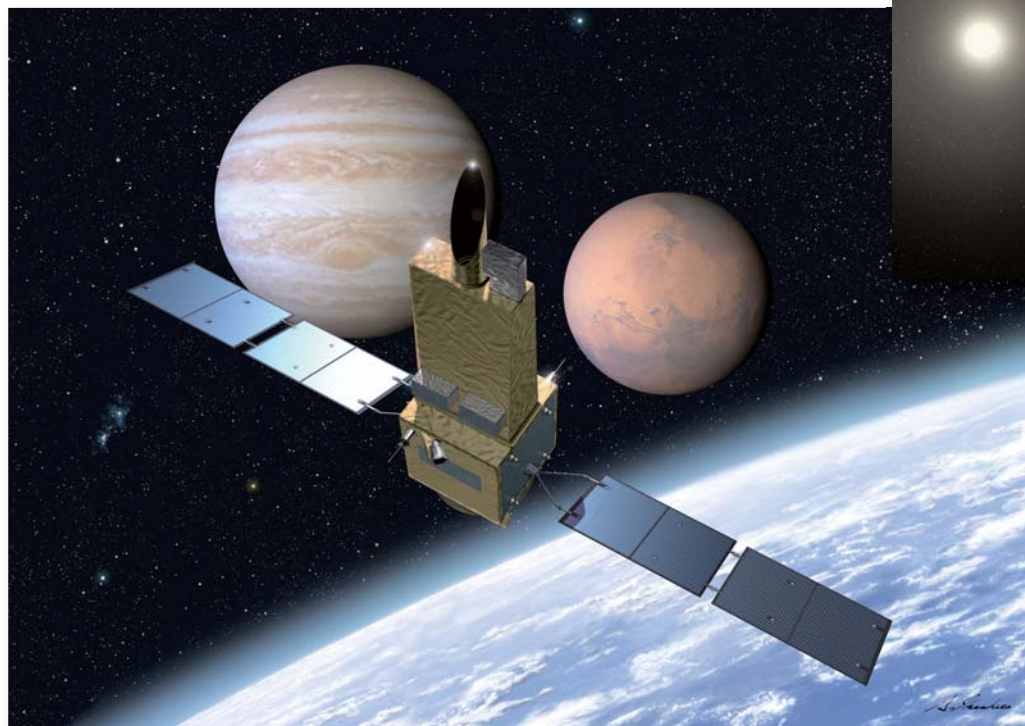
国際宇宙ステーション長期滞在ミッション報告会の開催

ISSでの生活を紹介する野口宇宙飛行士ら

第22次／第23次長期滞在クルーとしてISSに滞在した野口聡一宇宙飛行士と、長期滞在をともにしたNASA、ロシアのクルーによるISS長期滞在ミッションの報告会が、9月15日京都で開かれました。ミッションの映像を交えながら宇宙での活動を紹介。また「人類の宇宙進出」をテーマにしたパネル討論もあり、宇宙が生活の場になった場合、人文社会科学分野の研究が必要とされることなどが議論されました。また、会場との質疑応答で、重力が生活に及ぼす影響について、野口さんは「物が浮いて困ることもあるが、無重力の方が排便などを含めた日常生活は楽になると感じた」と感想をのべました。

JAXA's
宇宙航空研究開発機構機関誌 No.034

発行企画●JAXA（宇宙航空研究開発機構）
編集制作●財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー
2010年10月1日発行

宇宙科学ミッションを迅速かつ高頻度に実現する小型科学衛星

金星に到着した「あかつき」

イトカワに接近する「はやぶさ」

Close-up

設計図や観測データを読み込み、科学者とのコラボで生み出す“リアルで美しい”宇宙の姿

**スペースアートにおける日本の第一人者、池下章裕氏。
科学者との綿密な打ち合わせを経て描かれる作品は、リアリティにあふれ、
アーティスティックでもある。宇宙開発や宇宙探査に少しでも関心のある人なら、
必ず目にしているであろうイラストを描いた池下氏は、こんな人物。**

「小学校１年生の時、宇宙のスケールの大きさにショックを受けました。地球がボール大だとすると、太陽は運動場のトラックほどの大きさ――。実際にボールを持って運動場に立ち、初めて宇宙のスケールを実感しました。でも王・長嶋の全盛期だったので打ち込んだのはもっぱら野球。ボールが見えなくなるまで遊び、一番星を眺めながら家に帰り、天体望遠鏡で夜遅くまで星を観測しました。小学校５年生のときにはエンピツで挿し絵も入れた宇宙図鑑を完成させました」

大学時代はバンド活動に没頭、社会人になってから宇宙に関わる趣味の活動は行っていたものの、絵を描いたりする創作活動には関わっていなかった。しかし 1997 年、マーズ・パスファインダーのミッションに触発され、その年の７月４日、マーズ・パスファインダーが火星に着陸した日にホームページを立ち上げ、趣味で描いたイラストを発表するようになったのだという。

「そんなときに『MUSES-C という探査計画があるんですが、その後継機のイメージイラストを描いてもらえませんか』と関係者から声がかかった。それがこの世界に入るきっかけとなりました。いわば、『はやぶさ』が、私をこの世界に導いてくれたんです。プロジェクトチームの皆さんにとって『はやぶさ』はわが子。私にとっては甥っ子のような存在でしたね」

創作には音楽が欠かせず、しかもミッションごとにジャンルは決まっているという。「どんな曲を聴きながら描いているかは創作上の秘密（笑）。作品を見ながら想像してみてください」

JAXA デジタルアーカイブ（http://jda.jaxa.jp）でも、池下氏の作品に触れることができる。

池下章裕
IKESHITA Akihiro
小さい頃から天文ファン。宇宙細密画の岩崎一彰氏の絵に感銘を受けたことがきっかけで宇宙を描くことになる。大学では電子工学を専攻し、情報システムのエンジニアを経た後、総合商社の営業職に転身、その後独立。リアリティと美を追求したCGは多くの人々を魅了している

広報部　〒100-8260 東京都千代田区丸の内1-6-5
丸の内北口ビルディング3階
TEL:03-6266-6400　FAX:03-6266-6910

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://www.jaxa.jp/pr/mail/